

# Multi-Touch Querying on Data Physicalizations in Immersive AR

土居 大輝 国本 典晟 鈴木 彩門

## 1 はじめに

物理的なオブジェクトの、大きさや形状、表面の手触りといった物質的な特徴を 3D プリントとしてデータ表現するデータの物理化は、教育やコミュニケーションに利用されてきた。しかし、現在成功している氷河の融解や世界的なテロ統計などのデータの物理化は、様々な情報源からデータを伝達する能力は優れているが、ユーザがデータに動的に検索をかける対話的な探索を行うことができない。人間は本来の性質として、物理的な接触を通して学習しコミュニケーションを行うため、対話的な探索が可能なデータの物理化が重要である。この課題に対して、物理的要素と仮想的要素を組み合わせ、対話性と投影などの動的コンテンツの両方を提供するハイブリッドディスプレイを作成する方法 [1] がある。本論文では、この方法のような、物理的な要素を含みつつデジタルな入出力機構を使用して対話性を追加するあらゆる可視化をハイブリッド可視化と定義する。

本論文では、この方法を基に、没入型 AR と 3D プリントデータの物理化によるタッチセンシングの作成を組み合わせることで、対話的な探索を支援する新たな形の物理と仮想のハイブリッド可視化を提案する。

## 2 提案システム

### 2.1 概要

提案システムの概要図を図 1 に示す。提案システムは AR 可視化装置、マルチタッチ物理化装置、データホスト、可視化ホストからなる。マルチタッチ物理化装置から送信されたデータを可視化ホストで幾何学データに変換し、AR 可視化装置に表示する。

### 2.2 AR 可視化装置

AR 可視化装置には、パッシブ・インサイドアウト方式を選択する。パッシブ・サイドアウト方式は持ち運びとカバレッジに優れた方式である。この方式では一度 AR マーカを読み込んだ後、AR 可視化装置の位置と向いている角度から AR 表示の位置を調整する 6DoF トラッキングに切り替えるが、定期的に AR マーカを再度読み込ませないと精度が低くなる。そのため AR マーカをどの角度から見ても読み込める位置に置く必要がある。

まず、一度に読み込む AR マーカの枚数と遅延のトレードオフについて調べると、遅延は枚数が少ないほど短く、

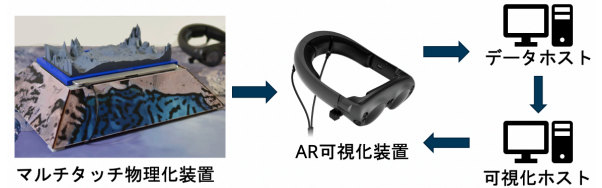


図 1: 提案手法の概要図

精度は 1 枚でも十分であったため、一度に読み込む AR マーカの数はいくつでも良いことが分かった。しかし、全ての角度から 1 枚の AR マーカを読み込むことは不可能なため、傾斜角が  $40^\circ$  のピラミッド型の各側面の中心に AR マーカを貼ったステージを使用する [2]。

### 2.3 マルチタッチ物理化装置

3D プリンタで出力したモデルに対するマルチタッチを認識するために、半径  $0.75\text{cm}$  の六角柱に分割したモデルを Sesel Morph という感圧センサ上に配置したものを使用する。六角柱に分割するのは視認性と各柱の管理のしやすさ、 $0.75\text{cm}$  に分割するのは人間の指の大きさに配慮したためである。この時、角柱のエッジ部分が互いに接触することによって起こる間違ったタッチポイントの追加（以下、ゴーストタッチ）やモデル自重によるゴーストタッチが出る場合がある。そのため本手法では、直径が  $1.5\text{cm}$  よりも小さいタッチ点群が現れた時、その郡内で最も大きな力の点のみを残すことで、エッジによるゴーストタッチを防ぎ、他よりも 5 倍以上小さく、絶対力が  $0.98\text{N}$  未満のものは無視する。このフィルタリング後に VRPN を使用し、AR 可視化装置と接続する。

### 2.4 動作手順

1. マルチタッチ物理化装置の近くで AR デバイスを装着
2. ユーザがモデルに触れると、Sensel Morph が感知して VRPN サーバから AR 可視化装置にデータの中継
3. AR 可視化装置で各タッチポイントの適切な仮想位置を計算
4. アフィン変換でタッチポイントをデータに変え、VTK データクエリを合成しデータホストに送信
5. データホスト上で VTK を用いて計算し、データの幾何学的表現を AR 可視化装置に送信してディスプレイに表示

## 2.5 流体との相互作用

モデル表面の流体の動きをシミュレーションするとき、モデル表面にシード点という点を置き、その点に沿った流線を確認するという方法で行う。この時、自分がどこをタッチしているかという情報は重要なため、タッチポイントを分かりやすくするために水平方向に垂直な白い線分を表示する。

## 2.6 切断面との相互作用

切断面を確認することは 3D データの探索において重要である。切断面は二つのタッチポイントで定義され、二つの点を結ぶ直線の垂直方向の平面で定義される。ユーザが手を話すまで調整可能で、手を離すと座標をデータサーバに送信し、VTK コンポーネントを使用して、切断面を AR 可視化装置で表示する。

# 3 評価

## 3.1 タッチ精度

提案システムのデータの物理化によるタッチ精度の低下の影響を評価するため、タッチターゲットへのポインティングの 8 名の被験者実験を行なった。被験者は、30 回のタッチの訓練課題の後、直接タブレットにタッチする nophys の 30 回とタブレット上のデータの物理化越しにタッチする phys の 30 回を、それぞれを 1 セットずつ行なった。学習効果を最小にするため、nophys と phys の順は 4 名ずつ入れ替えた。タッチターゲットは直径 5mm で、24cm x 13.85cm のタブレットにランダムな一様分布で上から投影される。phys では、ランダムに分布する 50 個のガウス峰により、最大高さ 8mm の凸凹面を持つ地形データを物理化し、その上にタッチターゲットを投影する。タッチターゲットは一つずつ投影され、あるポイントへのタッチが完了すると次のポイントを表示する。各タッチターゲットの正解座標とタッチ座標のユークリッド距離を測定し、条件間での平均のタッチ精度を測定した。

実験の結果を図 2 に示す。phys ( $\mu = 3.22\text{mm}$ ,  $\sigma = 2.1\text{mm}$ ) と比較して、nophys ( $\mu = 3.09\text{mm}$ ,  $\sigma = 1.64\text{mm}$ ) ではより正確にタッチすることができた。しかし、ウィルコクソンの符号順位検定の結果、データの物理化はタッチ精度に有意な影響を及ぼさず ( $p = 0.753$ )、「条件間の平均タッチ精度に差がない」という帰無仮説は棄却できなかった。

## 3.2 南極気候科学への応用

データの物理化の実際の科学における可能性を評価するため、南極大陸にあるフィルヒナー・ロンネ棚氷の融解速度を研究する気候科学者にデータの物理化を用いた研究を行ってもらい、思考発話法によるインタビューを行なった。データの物理化の対象は、気候科学者との相談に基づき、

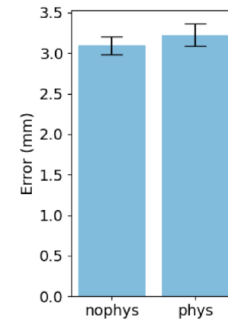


図 2: タッチ精度の実験結果

945km x 545km の小区画を選択した。元の座標空間からステレオグラフ投影、60 倍の垂直方向の拡張、タブレットのサイズへの切り抜きと拡大縮小等の変換を行い、2.3 節で説明するように六角柱に分割した。表面データの六角柱は高さ 0.15mm で 3D プリントし、247 個の表面データの合計プリント時間は約 2 日だった。物理的な可視化と仮想上の可視化の位置合わせを行うトラッキング画像には NASA の衛星画像を使用しており、南極大陸の鳥瞰図に対するデータと物理化モデルの位置と向きが追加されている。

気候科学者へのインタビューは、構築したシステムを使用してもらい、システムの能力を示すための一連の導入タスクを行う中で、思考発話法により行なった。さらに、システム全体に対する建設的な批判とシステムの使用状況に関するフィードバックの両方を促す質問を、気候科学者の探索プロセス全体にわたって行なった。インタビューの結果、データが物理的に重なるため直感的理解に役立ち、このシステムを中心としたチームメンバの相互的なコミュニケーションに役立つ可能性がある旨指摘された。また、物理化モデルは細かな探索の対象となる主要なデータそのものではなく、3 次元の空間マーカとして、より関心のある周辺の対象への方位確認等に用いられていた。

## 4 まとめと今後の課題

現在のデータの物理化はデータを伝達する能力は優れているが、ユーザがデータに動的に検索をかける対話的な探索を行うことができない。本論文では、没入型 AR と 3D プリントデータの物理化によるタッチセンシングの作成を組み合わせることで、対話的な探索を支援する物理と仮想のハイブリッド可視化を提案した。タッチ精度の評価と南極気候科学への応用の実験により、提案システムの有効性を示した。

## 参考文献

- [1] Yvonne Jansen, Pierre Dragicevic and Jean-Daniel Fekete, Evaluating the efficiency of physical visualizations, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.2593-2602, 2013.
- [2] Daniel F Abawi, Joachim Bienwald and Ralf Dörner, Accuracy in opti-

cal tracking with fiducial markers: an accuracy function for ARToolKit,  
*Third IEEE and ACM International symposium on mixed and augmented reality*, pp.260-261, 2004.